مقایسه رفتار لرزه‌ای قاب‌های مرکب تیر فولادی - ستون بتنی (RCS) تحت زلزله‌های حوزه نزدیک و دور از گسل*

محسن گرامی[۱] علی خیرالدین[۲] فرشته خراسانی[۳]

چکیده *در این پژوهش به بررسی نیاز لرزه‌ای سازه‌های مرکب RCS تحت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل پرداخته شده است. به همین منظور تعداد ۵ قاب خمشی مرکب RCS با شکل‌پذیری متوسط و در طبقات ٤، ٧، ١٠، ١٥ و ٢٠ و ٥ دهانه ٥ و ٧ متری طراحی شد و سپس تحلیل دینامیکی غیرخطی توسط نرم افزار OpenSees بر روی سازه‌ها انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که جابجایی طبقات تحت زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر از زلزله‌های حوزه دور می‌باشد به نحوی که با افزایش ارتفاع سازه، اختلاف میان آنها کاهش می یابد. سازه‌های بلند مرتبه دهانه ٧ متری در طبقات تحتانی و فوقانی زاویه دریفت ناشی از دور از گسل بیشتر از زاویه دریفت نزدیک گسل است.*

واژه‌های کلیدی قاب خمشی مرکب (RCS)، زلزله‌های نزدیک گسل، زلزله دور از گسل، تحلیل دینامیکی غیرخطی، اثر طول دهانه.

Seismic Assessment of RCS Moment Frames under Near Fault Earthquakes

M. Gerami A. Kheyroddin F. Khorasani

Abstract *In this research the seismic demand of RCS structures under the near-fault earthquakes is investigated. For this purpose 5 RCS intermediate moment frames with 4, 7, 10, 15 and 20 stories and 5 spans (span length 5 and 7m) were designed. Then nonlinear dynamic analysis was performed on the structures using the OpenSees software. Results show that the stories displacement under the near-fault earthquakes is larger than the far-fault earthquakes so that with increase in the structure height the difference between them decreases. In high rise structure with 7m length span, the drift-angle due to the far-fault earthquake is greater than the near-fault earthquake.*

Key Words RCS Moment Frame, Near Fault Earthquake, Far Fault Earthquake, Nonlinear Dynamic Analysis, Span Length.

* تاریخ دریافت مقاله ٩٤/١٢/١٦ و تاریخ پذیرش آن ٩٦/٢/٢٧ می‌باشد.

(۱) نویسنده مسئول: دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

Email: mgerami@semnan.ac.ir

(۲) استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

(۳) کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشگاه سمنان

مقدمه

قاب‌های خمشی مرکب RCS (Reinforced Concrete Steel Moment Frame) در ایالات متحده و ژاپن در شروع به توسعه و کسب محبوبیت کردند. در ایالات متحده این سیستم به عنوان نسخه تغییریافته قاب خمشی فولادی در مناطق با لرزه‌خیزی پایین و برای ساختمان‌های میان‌مرتبه تا بلندمرتبه استفاده شد. در ژاپن سیستم‌های مرکب RCS به صورت جایگزین قاب‌های خمشی بتن مسلح کوتاه‌مرتبه در مناطق با لرزه‌خیزی بالا توسعه یافت. هدف این کار، استفاده از قابلیت تیرهای فولادی در دهانه‌های بزرگ برای تامین فضای بدون ستون برای سازه‌های اداری کوتاه‌مرتبه و فروشگاه‌های کوچک بود [1].

با توجه به مجموعه مشکلاتی از قبیل صرف وقت و هزینه زیاد برای آرماتوربندی و قالب بندی تیرها برای ساختمانهای بتنی و کمانش و لاغری حاکم بر طرح ستون و صعوبت کار در ارتفاع و لزوم دقت زیاد در ساخت و ساز و نصب اسکلتهای فلزی در ساختمان های فولادی، در دهه‌ی ۸۰ میلادی ایده سازه‌های ترکیبی(CFT (Concrete Filled Tube)، RCS، SRC(Steel Reinforced Concrete) و...) به منظور استفاده بهینه از مصالح شکل گرفت [2,3].

با توجه به استفاده از ستون‌های بتن مسلح و تیرهای فولادی در این قاب‌ها، خواص فولاد و بتن در این سازه‌ها دخالت می‌کنند به این صورت که از مقاومت فشاری بتن در ستون و از مقاومت کششی فولاد در تیر به نحوی استفاده می‌شود که باعث کم شدن سطح مقطع اعضا و لذا باعث پایین آمدن وزن ساختمان و کاهش هزینه‌های ساخت می‌شود. با کم شدن وزن سازه، نیروی وارد بر پی کاهش می‌یابد در نتیجه ضخامت کمتر و سطح کمتری برای پی حاصل می‌شود. استفاده از بتن در ستون به دلیل مقاومت فشاری بالا بهترین رفتار بتن و استفاده از فولاد در تیر به دلیل مقاومت کششی بالا بهترین رفتار فولاد را نتیجه می‌دهند [3].

تاریخچهٔ تحقیقات

تحقیقاتی که بر روی قاب‌های RCS، انجام شده عمدتاً روی رفتار کلی این قاب‌ها و بررسی رفتار اتصالات بوده است. در طول دهه ۱۹۸۰ حدود ٤۰۰ اتصال در ژاپن و ۱۷ اتصال در ایالات متحده آزمایش شد. خیلی از اتصالات آزمایش شده در ژاپن مشخصات خاصی توسط شرکت‌های ساختمانی ژاپنی با هدف اصلی اعتبار سنجی جزئیات اتصال خاص داشتند. علی‌رغم نتایج جالب از آزمایشات، مکانیزم انتقال نیروی داخلی مشخص نبود. البته گریفیس به بررسی مزیت‌های قاب RCS پرداخت که بر اساس نتایج بدست آمده، قاب‌های RCS در حدود ۱۵٪ نسبت به قاب‌های بتنی و فولادی با در نظر گرفتن کلیه عوامل اقتصادی‌تر می‌باشند. آزمایشات ایالات متحده شامل دو سری از آزمایشات می‌شد که توسط دیرلین و شیخ [3,4] در دانشگاه تگزاس آوستین انجام شده بود.

حسین اسدی مندی و همکاران به بررسی ضوابط طراحی سازه‌های مرکب بر اساس آیین نامه‌های AISC و EUROCODE و مقایسه فنی، اقتصادی آنها پرداخت. در این پژوهش مقاطع شامل تیر، ستون ودال مرکب می‌باشند. در مقاطع مرکب از مقطع فولادی، دال بتنی، اتصال دهنده برشی و میلگرد تقویتی استفاده می‌شود. مقاطع فولادی در پائین تیر مرکب قرار می‌گیرد و در دهانه‌های ساده به عنوان عضو کششی عمل می کند این مقطع روی شاه تیر تکیه می‌کند. در تیر مرکب دال بتنی که شامل بتن و میلگردهای تقویتی است روی مقطع فولادی قرار می‌گیرد و توسط اتصال دهنده‌های برشی به مقطع فولادی متصل می‌شود، این اتصال دهنده‌ها نیروی برشی افقی را بین بتن و فولاد انتقال می‌دهند. ساخت ستونهای مرکب بدین ترتیب است که در مقاطع فولادی جعبه‌ای بتن داخل مقطع ریخته می‌شود ولی در مقاطع فولادی باز بتن دور مقطع فولادی ریخته می‌شود.

برای افزایش مقاومت ستون‌های مرکب از میلگرد طولی و خاموت نیز همانند ستون‌های بتن مسلح استفاده می‌شود. در پایان این نتیجه حاصل شد که آئین نامه اروپا برای طراحی مقاطع مرکب کنترلهای بیشتری را مدنظر قرار می‌دهد که این امر خود باعث طولانی‌تر شدن محاسبات می‌گردد. با توجه به کنترلهای متعدد آئین نامه اروپا در طراحی مقاطع مرکب این نتیجه حاصل می‌شود که آئین‌نامه اروپا محافظه کارانه‌تر با طراحی اینگونه سازه‌ها برخورد می‌کند که از یک دید ممکن است سبب افزایش طول عمر مفید سازه باشد [۵].

سید علی حسینی و همکاران به بررسی اتصالات و تحلیل لرزه‌ای قاب مرکب فولادی و بتنی (RCS) پرداختند، در تحقیق مذکور دو بخش عمده رفتار خطی و غیرخطی این قاب‌ها مورد بررسی واقع شد. در بخش بررسی رفتار خطی قاب RCS، وزن، پریود ارتعاشی، اشکال مدی، تغییرمکان و توزیع نیروی برشی در ارتفاع سازه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج با قاب خمشی بتنی و قاب خمشی فولادی مورد مقایسه قرار گرفتند. در بخش بررسی غیرخطی، قاب RCS به کمک تحلیل غیرخطی رانشی (پوش اور) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور مدل‌های مختلفی از قاب‌های۲، ۳ و ٤ دهانه و با طول دهانه ٤ ، ٦ و ۸ متر با تعداد طبقات ۲ تا ۱۰ طبقه، به‌عنوان نمونه‌های مورد بررسی از این نوع سازه‌ها انتخاب شده و با در نظر گرفتن دستورالعمل‌های FEMA-273 و ATC-40 در مدل‌سازی و تحلیل غیرخطی، مورد آنالیز واقع می‌گردند. با تعیین برش پایه متناظر با تشکیل نخستین مفصل پلاستیک، حد جاری شدن و حد گسیختگی . به محاسبه مقدار شکل‌پذیری و ضریب رفتار آنها پرداخته شده است. در پایان مقدار شکل‌پذیری قاب‌های خمشی مرکب ۲/۵ و مقدار ضریب رفتار آن ۵/۸۱ برآورد گردیده است [٦].

سید علی حسینی و همکاران به تحلیل قابلیت اعتماد قاب‌های مختلط RCS پرداختند، بدین منظور پارامترهای بارگذاری، طول دهانه و عمق مؤثر به عنوان متغیرهای تصادفی در نظر گرفته شده‌اند. محاسبه قابلیت اعتماد سازه به روش تحلیل قابلیت اعتماد تراز۲ انجام گرفت. قاب های ٤ دهانه با ارتفاع ۲ تا ۱۰ طبقه در نظر گرفته شدند و به وسیله نرم افزار اجزای محدود مدل شدند و تحلیل به صورت احتمالاتی انجام پذیرفت. در نهایت میزان تأثیر برخی متغیرهای تصادفی منظور شده روی قابلیت اعتماد سازه‌ها بررسی گردید. در نهایت نتایج نشان داد که با افزایش درجه نامعینی سازه مرکب از میزان قابلیت اعتماد سازه کاسته می‌شود این در حالیست که خلاف این نتیجه برای قاب‌های معمولی نتیجه می‌شود [۷].

هومن حبیب آگهی و همکاران بر روی بهینه سازی عملکردی و اطمینان پذیری سازه‌های ترکیبی RCS تحقیق کردند در این تحقیق ابتدا مدل پیشنهادی اتصال تیر به ستون در سازه‌های ترکیبی با نرم افزار ABAQUS بررسی شده، سپس روند بهینه سازی این سازه‌ها توسط تئوری مورچگان با در نظر گرفتن ضوابط طرح عملکردی تشریح و در پایان هم نتایج یک مورد مطالعه عددی عرضه شده است. ارائه راهکارهایی جهت افزایش دقت در روند مدلسازی، تحلیل و طراحی به منظور استفاده حداکثر از مزایای ذاتی سیستم‌های ترکیبی در قیاس با سازه‌های رایج از اهداف این پژوهش می‌باشند [۸].

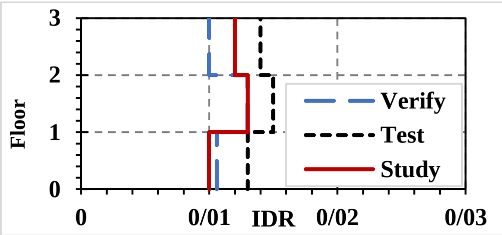
کاویان پرهیزکار و همکاران نیز به بررسی قاب‌های خمشی RCS تحت بارگذاری لرزه‌ای پرداختند، در این بررسی در بخش اول رفتار قاب‌های خمشی RCS به کمک تحلیل پوش اور برای قاب‌های یک تا چند دهانه و یک تا چند طبقه مورد بررسی قرارگرفت ودر بخش دوم به بررسی رفتار اتصال ما بین تیر فولادی و ستون بتنی پرداخته شده است. در نهایت

نتیجه کلی این بررسی بیانگر این موضوع بود که اتصالات RCS ظرفیت جانبی قاب را افزایش می‌دهند و تحت بارگذاری لرزه‌ای این قاب ها نسبت به نمونه مشابه قاب‌های خمشی بتنی و فولادی دارای جابجایی کمتری بودند [۹].

محمد حسین حبشی زاده و همکاران نیز به مدلسازی قاب‌های مختلط خمشی RCS و تأثیر رفتار اتصالات بر روی رفتار کلی این قاب‌ها پرداختند، در این تحقیق مدلسازی قاب‌های خمشی مختلط ویژه RCS توصیف گردید و تأثیر مدلسازی رفتار مدلسازی اتصالات بر روی رفتار کلی این قاب‌ها مورد بررسی قرار گرفت. قاب های خمشی مختلط ویژه RCS نوع جدیدی از قاب های خمشی ویژه هستند که در آن ها از ترکیب ستون‌های بتنی و تیرهای فولادی استفاده می‌شود. نحوه مدل‌سازی قاب‌های RCS و همچنین تأثیر مدلسازی رفتار اتصال بین تیر فولادی و ستون بتنی، روی رفتار کلی این قاب ها به وسیله مقایسه با اتصال RCS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج کلی این بررسی نشان داد که مدلسازی اتصال RCS ظرفیت جانبی قاب را افزایش می‌دهد [۱۰].

صحت سنجی

چن و همکاران از مرکز تحقیقات زلزله تایوان به همراه دیرلین و کوردوا از دانشگاه استنفورد، نتایج آزمایشات قاب سه طبقه با مقیاس واقعی را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند [11]. البته این آزمایش مربوط به رساله دکتری کوردوا در دانشگاه استنفورد بوده است [12]. در همین رساله اعتبار سنجی برای نتایج آزمایش قاب انجام گردید. لذا برای صحت سنجی این تحقیق از مشخصات قاب مورد آزمایش استفاده شد. طبق شکل (۱) نتیجه نسبت دریفت بین طبقه‌ای این صحت سنجی ارائه شده است. همانطور که در شکل مشخص است نتایج از اعتبار کافی برخوردار است. لازم به توضیح است که المان فایبر اثر غیرخطی شدن مصالح را در نظر می‌گیرد، این در حالیست که در مدل آزمایشگاهی غیرخطی شدن هندسی ناشی از کمانش موضعی نیز وجود دارد که بخشی از این اختلاف می‌تواند ناشی از عدم در نظر گرفتن این کمانش باشد. و هم چنین به دلیل عدم مدلسازی اتصال RCS در قاب مورد بررسی در این تحقیق، اختلاف نتیجه حاصل شده است.



شکل ۱ صحت سنجی قاب سه طبقه مورد آزمایش

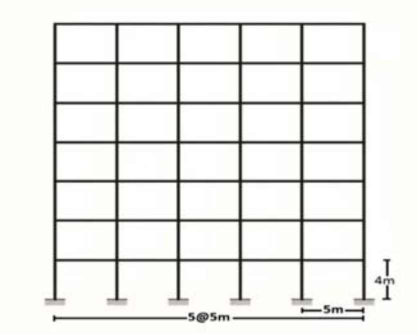
معرفی مدل‌ها

در این پژوهش تعداد ۵ قاب خمشی مرکب با شکل‌پذیری متوسط و در طبقات ٤، ۷، ۱۰، ۱۵و۲۰ و با تعداد ۵ دهانه ۵ و ۷ متری طراحی شده است که یک قاب به صورت شماتیک در شکل (۲) نشان داده شده است. تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی با استفاده از نرم افزار OpenSees [13] تحت شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک گسل بر روی مدل‌های مورد بررسی انجام می‌شود. که سازه‌های ٤ و ۷ طبقه نماینده سازه‌های کوتاه مرتبه، سازه‌های میان مرتبه ۱۰ و ۱۵ طبقه نماینده سازه‌های میان مرتبه و سازه ۲۰ طبقه نماینده سازه‌های بلندمرتبه هستند. در این تحقیق نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی مدل‌های مورد بررسی ارائه می‌شوند و به منظور بررسی نیازهای لرزه‌ای قاب‌های خمشی مرکب تحت زلزله‌های دور و نزدیک گسل، نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل مقایسه می‌شوند. به همین منظور تعداد ۱۰ رکورد نزدیک گسل و ۱۰ رکورد دور از گسل، بر روی سازه‌های انتخابی بررسی می‌شوند و نتایج به تفکیک ارائه خواهند شد. به‌منظور طراحی سازه‌ها برای مقاطع بتنی از آیین‌نامه ACI 318-08 [14] و مقاطع فولادی از AISC 360-05 [15] و برای بارگذاری جانبی از آیین‌نامه ASCE 7-10 [16] استفاده شده است (R=۵). و فرضیه‌های طراحی شامل خاک

نوع III و منطقه با خطر نسبی زیاد است. مقاطع مورد استفاده در این قاب‌ها شامل مقاطع مستطیلی با آرماتورهای آجدار و تیرورق به ترتیب برای ستون‌ها و تیرها است. در نرم افزار OpenSees برای مقاطع بتنی از مصالح بتنی با جنس Concrete01 و برای مقاطع فولادی از مصالح فولادی با جنس Steel02 استفاده شده است. و همچنین فرض‌های زیر در نظر گرفته شدند: مقاطع سازه از جنس Fiber می‌باشد.

۱. المان‌های سازه از نوع المان تیر ستون غیرخطی (Nonlinear Beam-Column Element) می‌باشد.
۲. میرایی سازه ۵ درصد می‌باشد و در حین حال فرآیند تحلیل غیرخطی از دستور میرایی رایلی به منظور محاسبهٔ میرایی سازه در هر گام تحلیل استفاده می‌شود.

در جدول (۱) تا جدول (۵) مقاطع مورداستفاده برای سازه‌های دهانه ۵ متری و دهانه ۷ متری ارائه شده است.



شکل ۲ تصویر شماتیک از نمای سازه ۷ طبقه با ۵ دهانه ۵ متری

جدول ۱ مقاطع مدل های ٤ طبقه

دهانه ۵ متری			
طبقات	تیرها	طبقات	ستون‌ها
۱-۳	PG38X0.8X15X1.5	۱و۲	C40-12Ø20
٤	PG32X0.6X15X1	۳و٤	C40-12Ø18
دهانه ۷ متری			
طبقات	تیرها	طبقات	ستون‌ها
۱و۲	PG49X0.8X20X2	۱و۲	C40x50-16Ø20
۳	PG48X0.8X15X1.5	۳و٤	C40x40-12Ø20
٤	PG43X0.8X15X1.5	---	---

جدول ۲ مقاطع مدل های ۷ طبقه

دهانه ۵ متری			
طبقات	تیرها	طبقات	ستون‌ها
۱-۳	PG43X0.8X15X1.5	۱-٤	C40x50-16Ø20
٤-٦	PG38X0.8X15X1.5	۵-۷	C40-12Ø20
۷	PG32X0.6X15X1	----	----
دهانه ۷ متری			
طبقات	تیرها	طبقات	ستون‌ها
۱-٤	PG49X0.8X20X2	۱-٤	C40x60-20Ø20
۵	PG48X0.8X15X1.5	۵-۷	C40x50-16Ø20
٦و۷	PG43X0.8X15X1.5	----	----

جدول ۳ مقاطع مدل های ۱۰ طبقه

دهانه ۵ متری			
طبقات	تیرها	طبقات	ستون‌ها
۱–۴	PG48X0.8X15X1.5	۱–۳	C40x60-20Ø20
۵و۶	PG43X0.8X15X1.5	۴–۶	C40x50-16Ø22
۷–۹	PG38X0.8X15X1.5	۷–۱۰	C40x40-12Ø20
۱۰	PG32X0.6X15X1	----	----
دهانه ۷ متری			
طبقات	تیرها	طبقات	ستون‌ها
۱–۴	PG54X0.8X20X2	۱–۴	C40x70-20Ø22
۵–۷	PG49X0.8X20X2	۵–۷	C40x60-20Ø20
۸و۹	PG48X0.8X15X1.5	۸–۱۰	C40x50-16Ø20
۱۰	PG43X0.8X15X1.5	---	---

جدول ٤ مقاطع مدل های ۱۵ طبقه

دهانه ۵ متری			
طبقات	تیرها	طبقات	ستون‌ها
۱–۳	PG54X0.8X20X2	۱–۴	C40x70-24Ø20
۴–۶	PG49X0.8X20X2	۵–۸	C40x60-20Ø20
۷–۹	PG48X0.8X15X1.5	۹–۱۲	C40x50-16Ø20
۱۰–۱۲	PG43X0.8X15X1.5	۱۳–۱۵	C40x40-12Ø20
۱۳–۱۵	PG38X0.8X15X1.5	---	---
دهانه ۷ متری			
طبقات	تیرها	طبقات	ستون‌ها
۱–۳	PG64X0.8X20X2	۱–۴	C40x80-24Ø25
۴–۷	PG59X0.8X20X2	۵–۸	C40x70-20Ø22
۸–۱۰	PG54X0.8X20X2	۹–۱۲	C40x60-20Ø20
۱۱و۱۲	PG49X0.8X20X2	۱۳–۱۵	C40x50-16Ø20
۱۳و۱٤	PG48X0.8X15X1.5	----	----
۱۵	PG43X0.8X15X1.5	----	----

جدول ۵ مقاطع مدل های ۲۰ طبقه

دهانه ۵ متری		
طبقات	تیرها	ستون‌ها
۱–٤	PG54X0.8X20X2	C40x80-20Ø22
۵–۸	PG49X0.8X20X2	C40x70-20Ø20
۹–۱۲	PG48X0.8X15X1.5	C40x60-20Ø20
۱۳–۱٦	PG43X0.8X15X1.5	C40x50-16Ø20
۱۷–۲۰	PG38X0.8X15X1.5	C40x50-12Ø20
دهانه ۷ متری		
طبقات	تیرها	ستون‌ها
۱–٤	PG54X0.8X20X2	C40x80-20Ø22
۵–۸	PG49X0.8X20X2	C40x70-20Ø20
۹–۱۲	PG48X0.8X15X1.5	C40x60-20Ø20
۱۳–۱٦	PG43X0.8X15X1.5	C40x50-16Ø20
۱۷–۲۰	PG38X0.8X15X1.5	C40x50-12Ø20

معرفی شتاب‌نگاشت‌ها

به‌منظور انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی از ۱۰ شتاب‌نگاشت نزدیک گسل و ۱۰ شتاب‌نگاشت دور از گسل به ترتیب مطابق جدول (٦) و جدول (۷) استفاده‌شده است. تمامی نگاشت‌های مورداستفاده که از سایت Peer [17] دریافت شده است، دارای مشخصات مربوط به خاک نوع III بر اساس آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰ [۱۸]) و یا خاک کلاس D براساس طبقه‌بندی دستورالعمل FEMA 356 [19] است. برای ترسیم طیف پاسخ ارتجاعی مختلف از نرم‌افزار SeismoSignal [20] استفاده‌شده است و کلیه شتاب‌نگاشت‌ها قبل از مقیاس‌سازی، به مقدار حداکثر شتاب (PGA) خود هم‌پایه شده‌اند.

به‌منظور تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی قاب‌های موردنظر از نرم‌افزار OpenSees استفاده شده است و نتایج مربوط به جابجایی، زاویه دریفت و برش طبقات در ادامه ارائه‌شده است. رکوردهای انتخاب‌شده در این مطالعه، به مدل‌های مذکور اعمال‌شده ودرنهایت میان پاسخ‌های به‌دست‌آمده میان گیری شده است. برای مقیاس سازی شتاب نگاشت‌ها نیز از روش مقیاس سازی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [۱۸] استفاده شده است. نتایج این مقیاس‌سازی و پریود ارتعاشی سازه در جدول (۸) آورده شده است.

ارزیابی قاب های خمشی مرکب تحت زلزله نزدیک گسل

در این بخش نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی مدل‌های مورد بررسی ارائه می‌شوند و به منظور بررسی نیازهای لرزه‌ای قاب‌های خمشی مرکب تحت زلزله‌های دور و نزدیک گسل، نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل مقایسه می‌شوند. همانطور که در بخش قبل بیان

شد، از آنجا که تمامی نگاشت‌های مورداستفاده دارای مشخصات مربوط به خاک نوع III بر اساس آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰ [۱۸]) و یا خاک کلاس D بر اساس طبقه‌بندی دستورالعمل FEMA [19] 356 است. و کلیه شتاب‌نگاشت‌ها قبل از مقیاس‌سازی، به مقدار حداکثر شتاب (PGA) خود هم‌پایه شده‌اند، لذا استدلال می‌گردد که رکوردهای زلزله انتخاب شده در هر دو حوزه به گونه‌ای هستند که نتایج حاصل از آنها قابل مقایسه با یکدیگر باشند.

در شکل (۳) تا شکل (۱۲) نتایج جابجایی و زاویه دریفت طبقات سازه‌های با دهانه ۵ متری حاصل از شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک از گسل برای سازه‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ٦ مشخصات شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک گسل مورد استفاده در این مطالعه

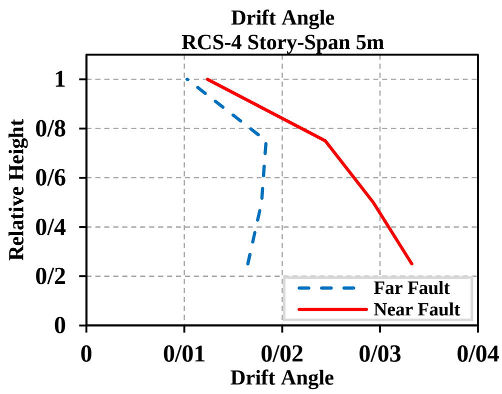
Near Fault Records								
Num	Earthquake name	Date [yy-mm-dd]	Station	R [Km]	PGA [g]	PGV [cm/sec]	PGD [cm]	Magnitude
1	Chi-Chi,Taiwan,	۱۹۹۹/۹/۲۰	TCU051	۷/٦٦	۰/۲۰	٤۱/۲	۵۹/۱۹	۷/٦۲
2	Chi-Chi,Taiwan,	۱۹۹۹/۹/۲۰	TCU055	٦/۳٦	۰/۲۱	۳٦/۸۷	۲۲/۰۲	۷/٦۲
3	Imperial Valley-06	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	El Centro Array #7	۰/۵٦	۰/٤۲	۷۹/۱۵	٤۰/۸۳	٦/۵۳
4	Erzican, turkey	۱۹۹۲/۳/۱۳	95 Erzincan	٤/۳۸	۰/٤۸	۷۲/۹۵	۲٤/۷۹	٦/٦۹
5	LomaPrieta,	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Gilroy - Historic Bldg.	۱۰/۹۷	۰/۲٦	۳۱/۳۷	٦/٤۲	٦/۹۳
6	LomaPrieta,	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Gilroy Array #2	۱۱/۰۷	۰/۳۵	۳۵/۱۰	۸/۵٤	٦/۹۳
7	Northridge	۱۹۹٤/۱/۱۷	DWP 75 Sylmar-Converter	۵/۱۹	۰/٦٤	۹۵/۰۷	۳۳/٤۳	٦/٦۹
8	Northridge	۱۹۹٤/۱/۱۷	DWP 74 Sylmar-Converter	۵/۳۵	۰/۷۱	۱۰۹/۳۸	۵۲/۳۵	٦/٦۹
9	Kobe, Japan	۱۹۹۵/۱/۱٦	Takatori	۱/٤۷	۰/٦۵	۱۱۷/۱٤	۳۳/۰٦	٦/۹
10	Kobe,Japan,	۱۹۹۵/۱/۱٦	KJMA	۰/۹٦	۰/۷۱	۷۷/۸۳	۱۸/۸۷	٦/۹

جدول ۷ مشخصات شتاب‌نگاشت‌های حوزه دور از گسل مورد استفاده در این مطالعه

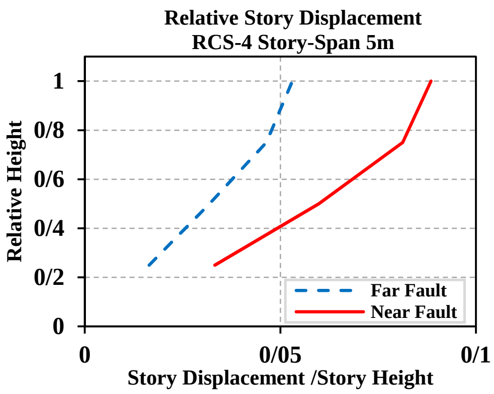
Far Fault Records								
Num	Earthquake name	Date [yy-mm-dd]	Station	R [Km]	PGA [g]	PGV [cm/sec]	PGD [cm]	Magnitude
1	Manjil, Iran	۱۹۹۰/٦/۲۰	Tonekabun	۹۳/٦۲	۰/۱۱	۱٤/٤۳	٤/۸۳	۷/۳۷
2	Manjil,Iran,	۱۹۹۰/٦/۲۰	Qazvin	٤۹/۹۷	۰/۱۳	۱۰/۸۹	۳/۳٦	۷/۳۷
3	Chi-Chi,Taiwan,	۱۹۹۹/۹/۲۰	CHY065	۸۳/٤۳	۰/۱۰	۱۳/٦٦	۸/۱۰	۷/٦۲
4	Chi-Chi,Taiwan,	۱۹۹۹/۹/۲۰	TAP095	۱۰۹/۰۱	۰/۱۳	۱۹/۹۳	۹/۰٤	۷/٦۲
5	Kobe,Japan,	۱۹۹۵/۱/۱٦	HIK	۹۵/۷۲	۰/۱٤	۱٤/۸۱	۲/۳۱	٦/۹
6	Tabas,Iran,	۱۹۷۸/۹/۱٦	Ferdows	۹۱/۱٤	۰/۱۰	۷/۰۸	۷/۱۸	۷/۳۵
7	Northridge,	۱۹۹٤/۱/۱۷	Featherly Park - Maint	۸۲/۳۲	۰/۱۰	٦/۵۸	۰/٦٦	٦/٦۹
8	Loma Prieta	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	SF Intern. Airport	۵۸/٦۵	۰/۲۸	۲٤/۵۲	٤/۸۰	٦/۹۳
9	Loma Prieta	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Oakland - Title & Trust	۷۲/۲۰	۰/۲۰	۲۷/٦۱	۵/۹٤	٦/۹۳
10	Loma Prieta	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	Oakland - Outer Harbor Wharf	۷٤/۲٦	۰/۲۸	٤۱/۸٦	۹/٦۰	٦/۹۳

جدول ۸ نتایج مقیاس‌سازی رکوردهای مورد مطالعه و پریود ارتعاشی هر سازه

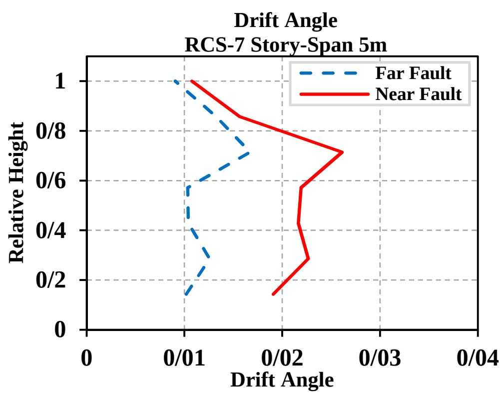
پریود ارتعاشی سازه	ضریب مقیاس رکوردهای دور از گسل	ضریب مقیاس رکوردهای نزدیک گسل	طول دهانه	تعداد طبقات
۰/٥	۰/٥٦۱	۰/٥٦٦	٥	٤
	۰/٥٦۱	۰/٥۹	۷	
۰/۷٦۱	۰/٥۳	۰/٥٥۲	٥	۷
	۰/٥٤٤	۰/٥٦	۷	
۰/۹۹	۰/٥٦	۰/٥٦	٥	۱۰
	۰/٥۷	۰/٥٦	۷	
۱/۳٥	۰/۷۸۸	۰/٦	٥	۱٥
	۰/۷۸۲	۰/٥٥	۷	
۱/٦۷	۱/۰٥	۰/٦۸٥	٥	۲۰
	۱/۰٦	۰/٦۹	۷	



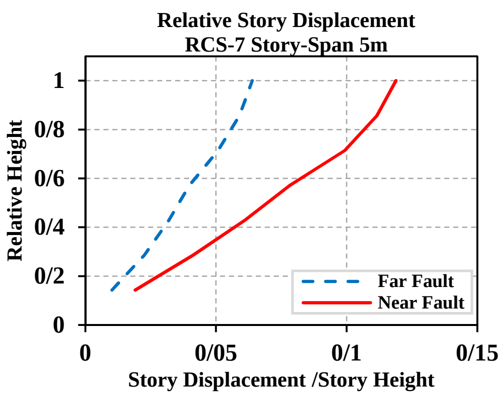
شکل ۳ زاویه دریفت طبقات سازه ٤ طبقه



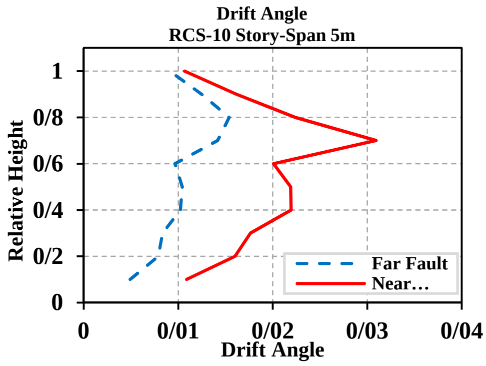
شکل ٤ جابجایی طبقات سازه ٤ طبقه



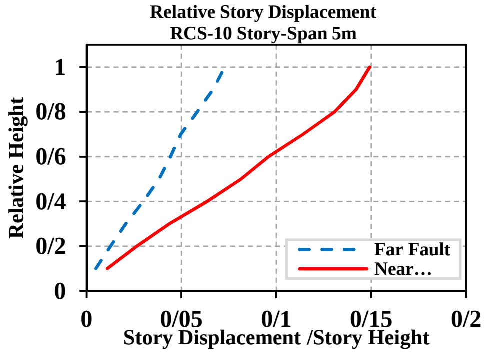
شکل ٥ زاویه دریفت طبقات سازه ۷ طبقه



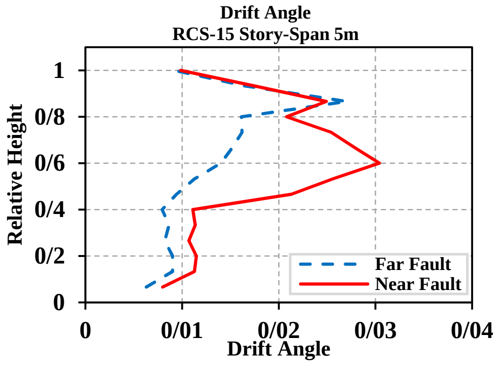
شکل ٦ جابجایی طبقات سازه ۷ طبقه



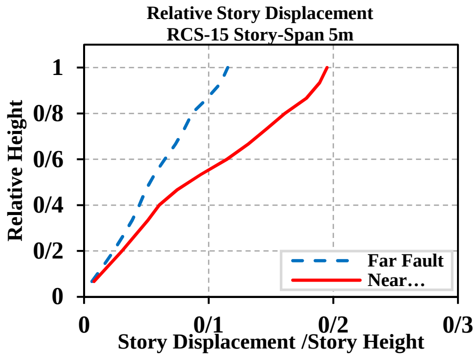
شکل ۷ زاویه دریفت طبقات سازه ۱۰ طبقه



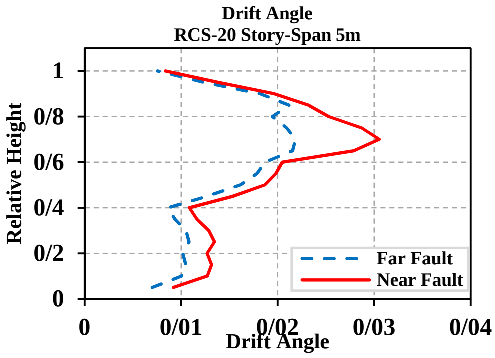
شکل ۸ جابجایی طبقات سازه ۱۰ طبقه



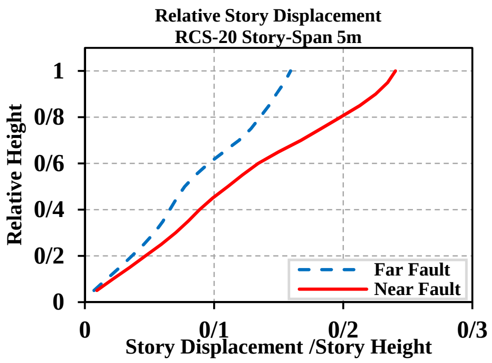
شکل ۹ زاویه دریفت طبقات سازه ۱۵ طبقه



شکل ۱۰ جابجایی طبقات سازه ۱۵ طبقه



شکل ۱۱ زاویه دریفت طبقات سازه ۲۰ طبقه



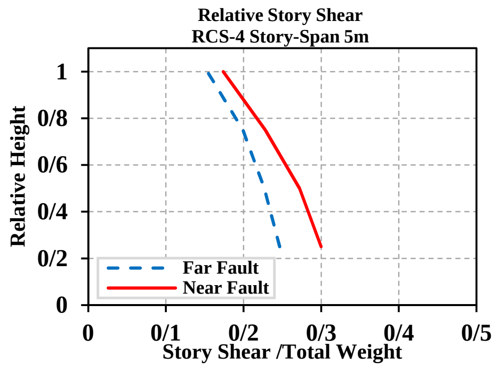
شکل ۱۲ جابجایی طبقات سازه ۲۰ طبقه

در کلیهٔ سازه‌های با دهانه ۵متری، جابجایی و زاویه دریفت طبقات حاصل از زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر از زلزله‌ی دور از گسل می‌باشد. این در حالی است که اختلاف میان جابجایی طبقات حاصل از زلزله‌های دور و نزدیک گسل با افزایش تعداد طبقات سازه‌های مختلف کاهش می‌یابد.

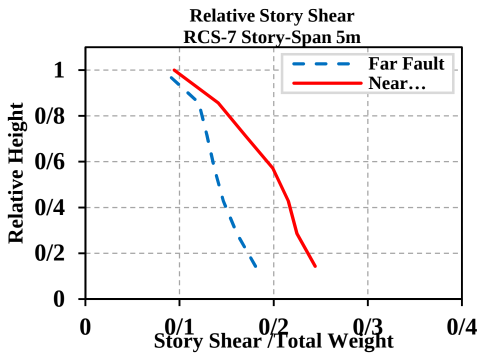
در حقیقت به دلیل بیشتر بودن انرژی ورودی به سازه در اثر زلزله‌های نزدیک گسل در کلیه سازه‌های مورد بحث جابجایی ناشی از زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر از جابجایی ناشی از زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. در زلزله‌های نزدیک گسل انرژی ورودی به سازه در طبقات پایین مستهلک شده و انرژی کمتری در مقایسه با زلزله دور از گسل به طبقات فوقانی سازه منتقل می‌شود. به همین دلیل اختلاف مقادیر زاویه دریفت طبقات فوقانی سازه‌ها تحت زلزله های دور و نزدیک گسل کاهش می یابد. این اثر با افزایش ارتفاع سازه افزایش می‌یابد به نحوی که در سازه ٤ و ۷ و ۱۰ طبقه در کلیه طبقات زاویه دریفت حاصل از زلزله‌های

نزدیک گسل بیشتر از زلزله‌های دور گسل می‌باشد، در سازه ۱۵ و ۲۰ طبقه در ۰/۲ ارتفاع طبقات فوقانی زاویه دریفت حاصل از زلزله‌های دور از گسل برابر با زاویه دریفت حاصل از زلزله‌های نزدیک گسل می‌باشد.

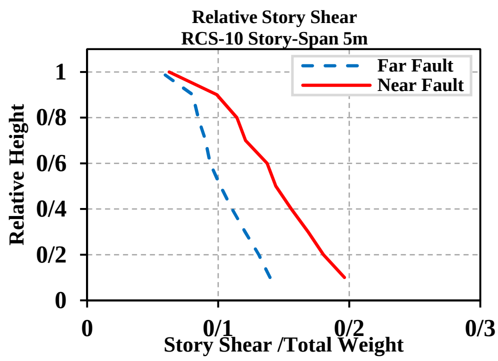
در شکل (۱۳) شکل (۱۷) نتایج برش حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی مدل‌های مورد بررسی با دهانه ۵ متری تحت حوزه نزدیک گسل و دور از گسل ارائه می‌شوند. نتایج بررسی برش طبقات سازه‌ها با دهانه ۵ متری تحت رکوردهای دور از گسل و نزدیک گسل نشان می‌دهد که برش طبقات در سازه‌های مورد بررسی ناشی از زلزله های نزدیک گسل به مراتب بیشتر از برش طبقات ناشی از زلزله های دور از گسل است. در سازه‌های ۱۵ و ۲۰ طبقه برش پایه به یکدیگر نزدیک شده اند. برش پایه با افزایش تعداد طبقات تحت زلزله نزدیک گسل کاهش می یابد.



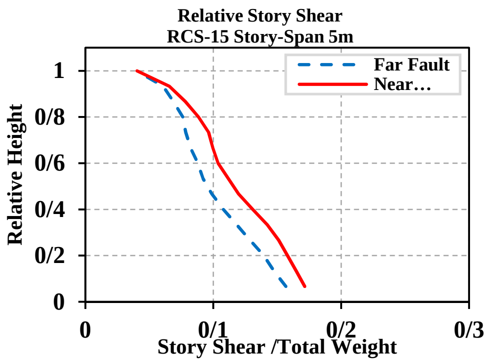
شکل ۱۳ برش طبقات سازه ٤ طبقه



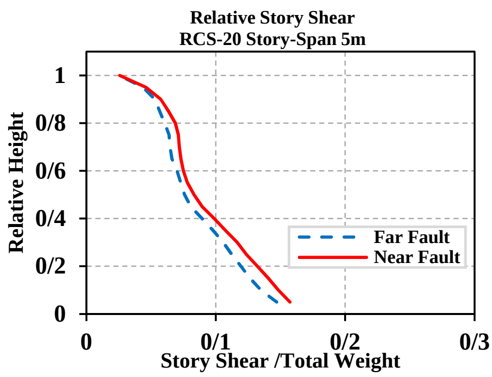
شکل ١٤ برش طبقات سازه ۷ طبقه



شکل ۱۵ برش طبقات سازه ۱۰ طبقه



شکل ١٦ برش طبقات سازه ۱۵ طبقه

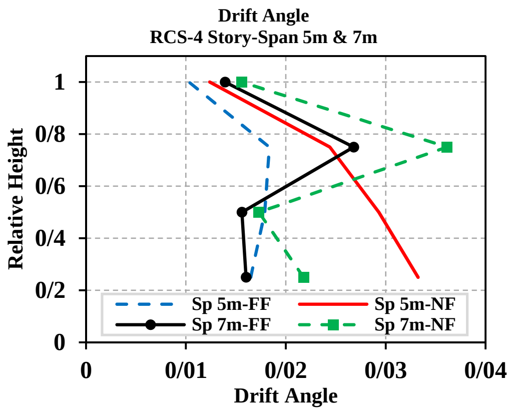


شکل ۱۷ برش طبقات سازه ۲۰ طبقه

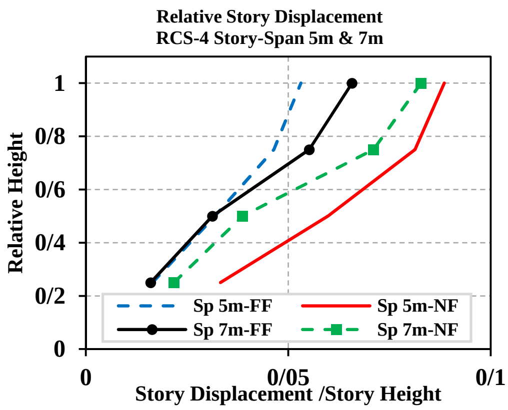
اثر طول دهانه در نتایج تحلیل دینامیکی سازه مرکب

همانطور که پیش از این ذکر گردید، سیستم های مرکب RCS به منظور جایگزینی سیستم های رایج در مناطق با لرزه خیزی بالا برای استفاده از قابلیت های تیرهای فولادی در دهانه های بزرگ به عنوان یکی از مهمترین عوامل مورد استفاده قرار می گیرد. لذا در این بخش هدف این است که اثر بیشتر شدن طول دهانه در نتایج تحلیل مشاهده شود. در این بخش تعداد ۵ قاب خمشی مرکب با شکل‌پذیری متوسط و در طبقات ٤، ۷، ۱۰، ۱۵و۲۰ و با تعداد ۵ دهانه ۷ متری با قاب های دهانه ۵متری به منظور بررسی اثر دهانه در نیازهای لرزه‌ای قاب‌های خمشی مرکب تحت زلزله‌های دور و نزدیک گسل، مقایسه می گردند. مشخصات مقاطع سازه‌های مورد بررسی در جدول (۱) تا جدول (۵) آورده شده است. تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی با استفاده از نرم افزار OpenSees تحت شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک گسل بر روی مدل‌های مورد بررسی انجام می‌شود. در این بخش نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی مدل‌های مورد بررسی ارائه می‌شوند.

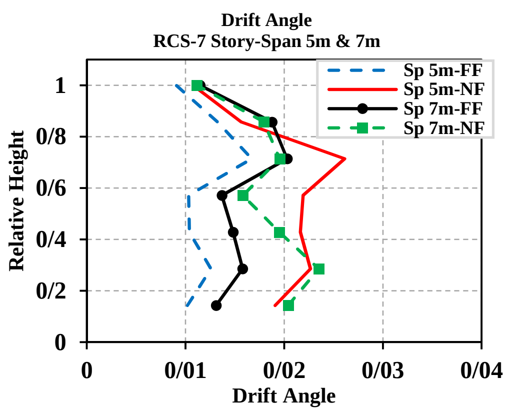
در شکل (۱۸) تا شکل (۲۷) نتایج جابجایی و زاویه دریفت طبقات حاصل از شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک از گسل برای سازه‌های دهانه ۷ متری در مقایسه با دهانه ۵ متری ارائه شده است.



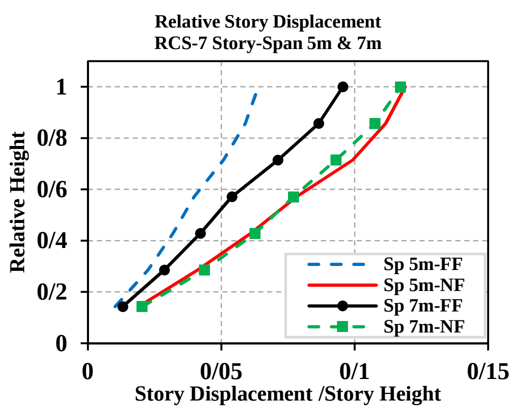
شکل ۱۸ زاویه دریفت طبقات سازه‌های ٤ طبقه



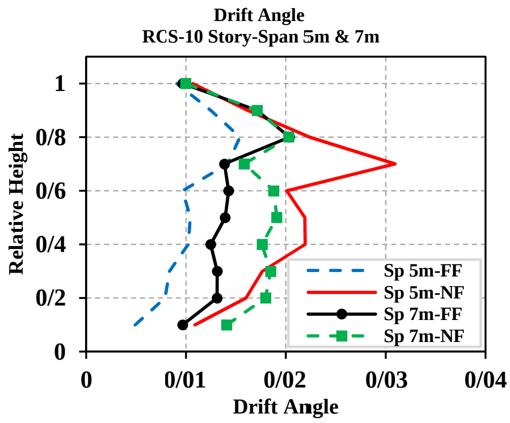
شکل ۱۹ جابجایی طبقات سازه‌های ٤ طبقه



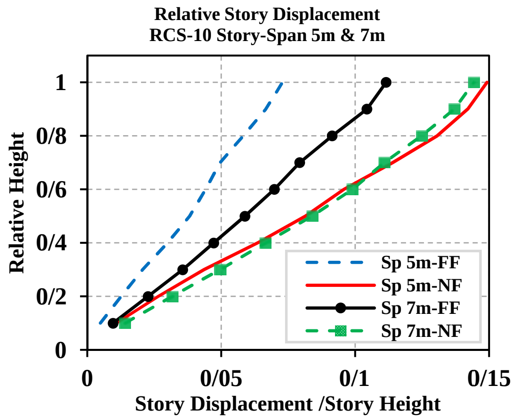
شکل ۲۰ زاویه دریفت طبقات سازه‌های ۷ طبقه



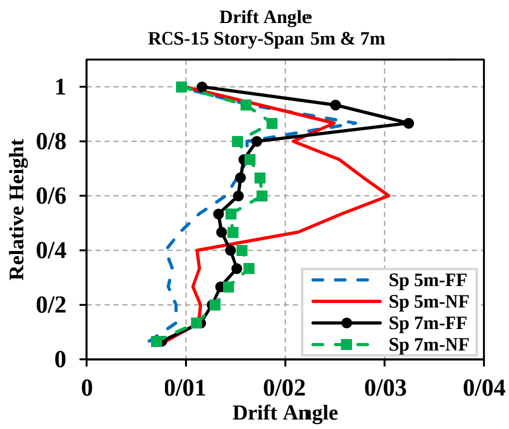
شکل ۲۱ جابجایی طبقات سازه‌های ۷ طبقه



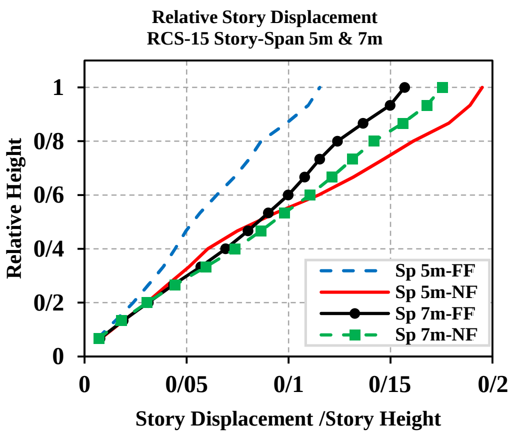
شکل ۲۲ زاویه دریفت طبقات سازه‌های ۱۰ طبقه



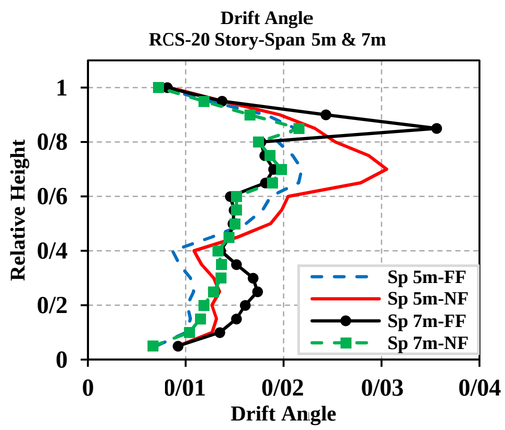
شکل ۲۳ جابجایی طبقات سازه‌های ۱۰ طبقه



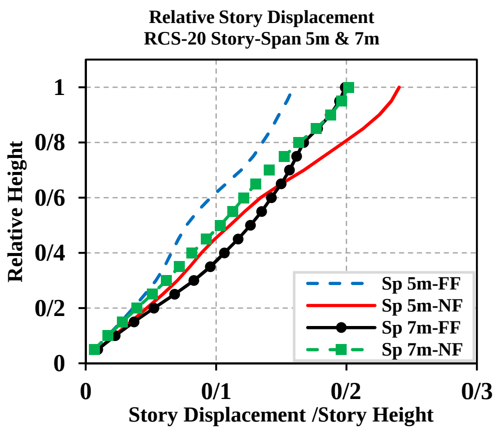
شکل ۲٤ زاویه دریفت طبقات سازه‌های ۱۵ طبقه



شکل ۲۵ جابجایی طبقات سازه‌های ۱۵ طبقه



شکل ۲٦ زاویه دریفت طبقات سازه‌های ۲۰ طبقه



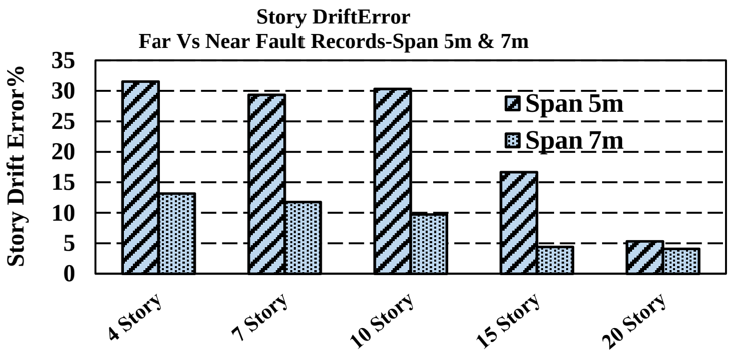
شکل ۲۷ جابجایی طبقات سازه‌های ۲۰ طبقه

همانطور که از نمودارهای شکل (۱۸) تا شکل (۲۷) مشخص است دریفت و جابجایی ناشی از رکوردهای دور از گسل در سازه‌های با دهانه ۷ متری میزان بیشتری نسبت به سازه‌های با دهانه ۵ متری دارد. که البته با افزایش ارتفاع سازه این اختلاف کاهش می‌یابد. اما دریفت و جابجایی ناشی از زلزله‌های نزدیک از گسل در سازه‌های با دهانه ۷ متری مقادیر کمتری نسبت به سازه‌های با دهانه ۵ متری دارد. از طرفی سازه‌ها در برابر زلزله نزدیک گسل با افزایش ارتفاع، سازه‌های با دهانه ۷ متری نتایج زاویه دریفت کمتر و بهتری نسبت به سازه‌های با دهانه ۵ متری دارند. شکل (۲۸) و شکل (۲۹)، مقادیر اختلاف زاویه دریفت و جابجایی تحت رکوردهای دور از گسل را در مقاسه با شتاب‌نگاشت‌های نزدیک از گسل بین سازه‌های دهانه ۷ متری و دهانه ۵ متری نشان می‌دهد.

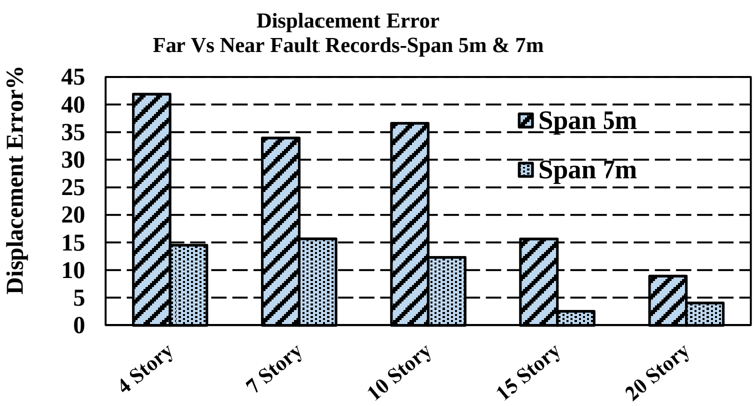
به‌منظور محاسبه درصد خطای هر روش از رابطه (۱) که توسط پینهو و همکاران معرفی‌شده است، استفاده می‌شود.

$$\mathrm{Error}(\%) = \frac{100}{n}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\Delta_{i_{\mathrm{Far\ Fult}}} - \Delta_{i_{\mathrm{Near\ Fault}}}}{\Delta_{i_{Far\ Fault}}}\right)^2} \tag{1}$$

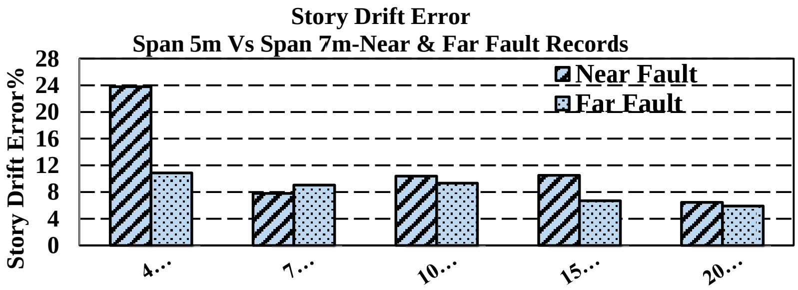
در رابطهٔ فوق، n تعداد طبقات سازه، $\Delta_{i_{\mathrm{Near\ Fult}}}$ حداکثر تغییرمکان نسبی یا مطلق در طبقه i حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت رکوردهای نزدیک از گسل، $\Delta_{i_{\mathrm{Far\ Fault}}}$ حداکثر ت غییرمکان نسبی یا مطلق در طبقه i حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت رکوردهای دور از گسل می‌باشد.



شکل ۲۸ اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه زاویه دریفت طبقات در سازه‌های مورد مطالعه



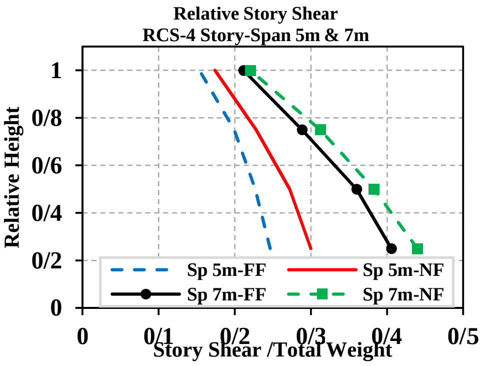
شکل ۲۹ اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه جابجایی طبقات در سازه‌های مورد مطالعه



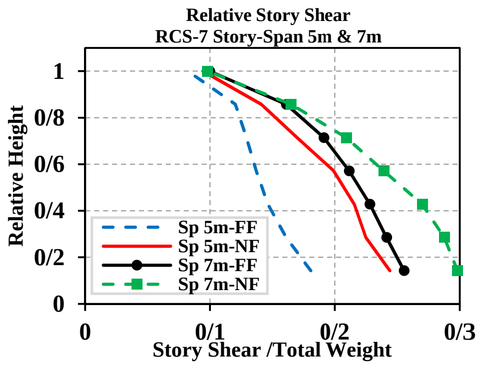
شکل ۳۰ اختلاف ناشی از اثر طول دهانه در محاسبه زاویه دریفت طبقات در سازه‌های مورد مطالعه تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل

نتایج حاصل از شکل های شکل (۲۸) شکل (۲۹) نشان می دهند که هرچه طول دهانه بیشتر شود اختلاف بین دریفت و جابجایی ناشی از زلزله های دور از گسل و نزدیک از گسل کمتر می شود، و با افزایش تعداد طبقات اختلاف جابجایی و دریفت بین دو نوع رکورد دور از گسل و نزدیک از گسل کمتر می شود. این اثر بین سازه‌های دهانه ۵ متری و ۷ متری مشترک است. بیشترین اختلاف ناشی از رکوردهای دور از گسل و نزدیک گسل در محاسبه زاویه دریفت و جابجایی مربوط به سازه دهانه ۵ متری به ترتیب حدود ۳۲ درصد و ۴۲ درصد و برای سازه‌های دهانه ۷ متری تقریبا به ترتیب ۱۳ درصد و ۱۶ درصد مربوط به سازه‌های کوتاه مرتبه است. کمترین اختلاف ناشی از رکوردهای دور از گسل و نزدیک گسل در محاسبه زاویه دریفت و جابجایی مربوط به سازه دهانه ۵ متری به ترتیب حدود ۵ درصد و ۹ درصد و برای سازه‌های دهانه ۷ متری به ترتیب تقریبا ۴ درصد و ۲/۵ درصد مربوط به سازه‌های بلند مرتبه هستند.

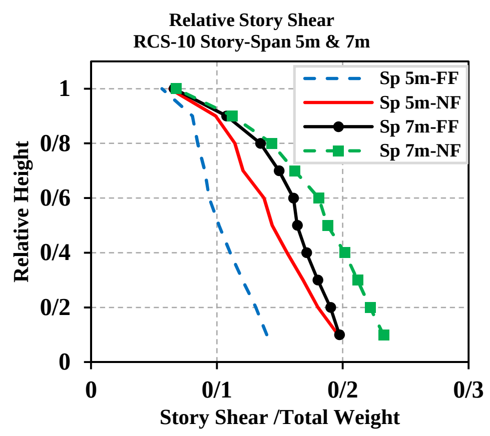
شکل (۳۰) اختلاف زاویه دریفت بین سازه‌های با دهانه ۵ و ۷ متری را تحت زلزله های دور و نزدیک گسل بیان می کند که نتایج نشان می دهد، هر چه تعداد طبقات بیشتر گردد اختلاف دریفت بین سازه‌های با دهانه ۵ متری و ۷ متری تحت زلزله دور از گسل و نزدیک از گسل کمتر میشود. و در مقایسه نتایج دریفت دور و نزدیک از گسل می توان گفت که اختلاف دریفت بین دو نوع دهانه مورد بررسی، تحت زلزله های دور از گسل کمتر از همین اختلاف تحت زلزله های نزدیک گسل است. و بیشترین اختلاف دریفت بین دهانه ۵ و ۷ متری مربوط به سازه ٤ طبقه تحت زلزله نزدیک گسل ٢٤ درصد است و کمترین اختلاف مربوط به سازه ۲۰ طبقه تحت زلزله دور از گسل حدود ٦ درصد است. در شکل (۳۱) تا شکل (۳۵) نتایج برش طبقات حاصل از شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک از گسل برای سازه‌های دهانه ۷ متری در مقایسه با دهانه ۵ متری ارائه شده است.



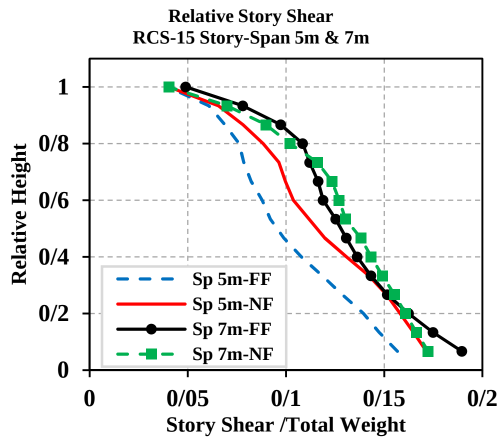
شکل ۳۱ برش طبقات سازه‌های ٤طبقه



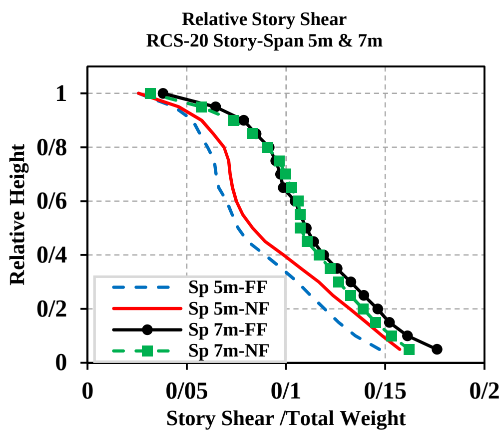
شکل ۳۲ برش طبقات سازه‌های ۷طبقه



شکل ۳۳ برش طبقات سازه‌های ۱۰طبقه



شکل ۳٤ برش طبقات سازه‌های ۱۵طبقه

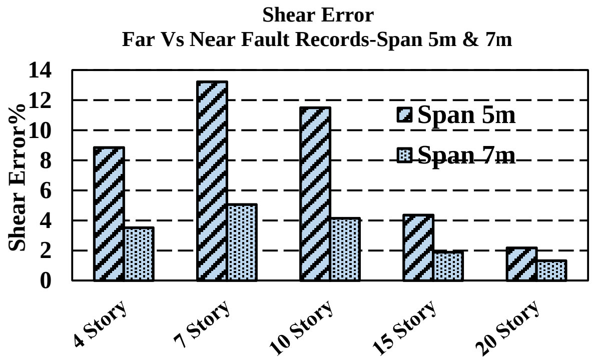


شکل ۳۵ برش طبقات سازه‌های ۲۰ طبقه

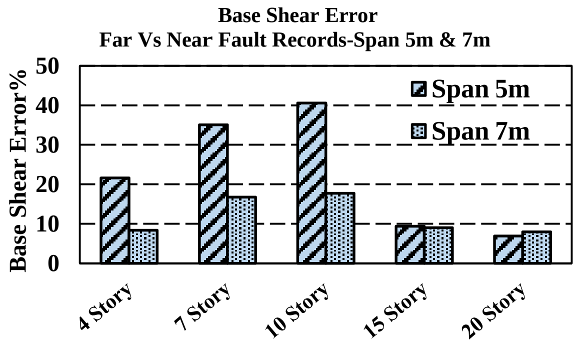
با توجه به نمودارهای شکل (۳۱) تا شکل(۳۵) می‌توان دریافت که برش طبقات ناشی از رکورد نزدیک گسل در سازه‌های دهانه ۷ بیشتر از برش طبقات سازه‌ها با دهانه ۵ متری هستند و تحت زلزله دور از گسل نیز همین نتیجه مشاهده می گردد. با افزایش تعداد طبقات اختلاف مقادیر برش طبقات ناشی از زلزله های دور و نزدیک گسل کاهش می یابد که این اثر بین دهانه های ۵ و ۷ متری مشترک است به نحوی که مقادیر برش طبقات حاصل از سازه‌های دهانه ۷ متری از سازه‌های دهانه ۵ متری بیشتر است. از طرفی برش طبقات ناشی از دو نوع رکورد در سازه با دهانه ۷ متری بسیار به هم نزدیک هستند این در حالیست که این اتفاق با این وضوح برای سازه‌های دهانه ۵ متری رخ نداده است. برش پایه در سازه‌های با دهانه ۷ متری نشان می دهد که با افزایش ارتفاع سازه، برش پایه حاصل از زلزله های دور از گسل نسبت به زلزله های نزدیک گسل افزایش می یابد که این اثر در سازه‌های با دهانه ۵ متری مشاهده نشده است.

شکل (۳٦) ٦-۱۹، مقادیر اختلاف برش و نیروی طبقات تحت رکوردهای دور از گسل را در مقاسه با شتاب‌نگاشت‌های نزدیک از گسل بین سازه‌های دهانه ۷ متری و دهانه ۵ متری نشان می‌دهد.

در شکل (۳٦) ٦-۱۹، هر چه طول دهانه بیشتر شود اختلاف بین دو مقدار برش طبقات سازه‌ها ناشی از دو نوع رکورد مورد مطالعه کمتر می شود و این در حالیست که هر چه تعداد طبقات بیشتر شود اختلاف برش طبقات بین رکورد دور و نزدیک از گسل نیز کمتر می شود. بیشترین اختلاف برش طبقات تحت زلزله های دور از گسل و نزدیک از گسل سازه‌های دهانه ۵ و ۷ متری به ترتیب به مقدار حدود ۱۳ و ۵ درصد مربوط به سازه‌های کوتاه مرتبه است و کمترین اختلاف برش طبقات سازه دهانه ۵ و ۷ متری به ترتیب به مقدار تقریبی ۲ درصد و ۱ درصد برای سازه‌های بلند مرتبه است.



شکل ۳٦ اختلاف ناشی از رکوردهای نزدیک و دور از گسل در محاسبه برش طبقات در سازه‌های مورد مطالعه

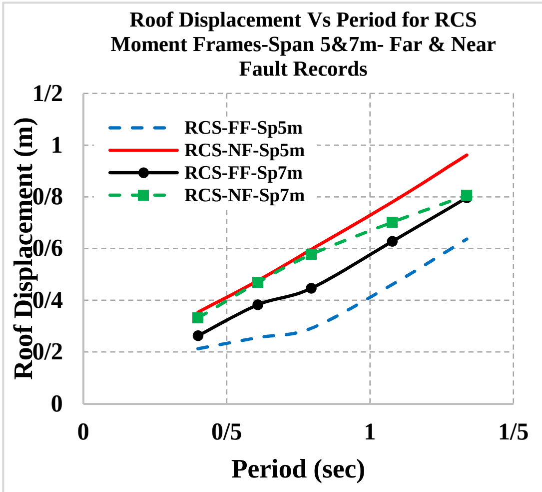


شکل ۳۷ اختلاف ناشی از اثر طول دهانه در محاسبه برش پایه در سازه‌های مورد مطالعه تحت رکوردهای نزدیک و دور از گسل

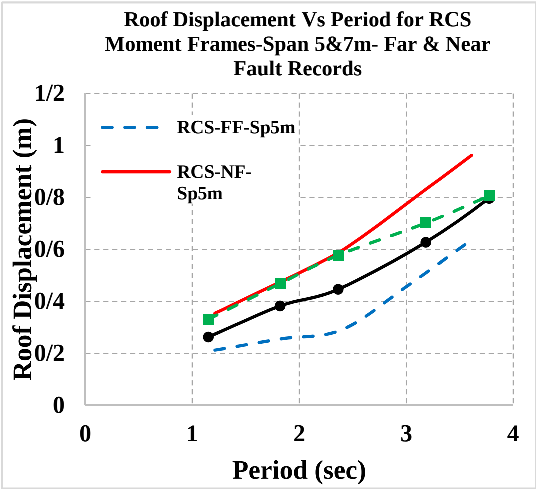
از شکل (۳۷) می توان مشاهده کرد که اثر زلزله نزدیک گسل بر برش پایه در سازه‌های کوتاه مرتبه و میان مرتبه هر دو نوع دهانه بیشتر از سازه‌های بلند مرتبه است، به نحوی که کمترین اختلاف برش پایه در سازه‌های دهانه ۵ متری در حدود ۷ درصد و در سازه‌های دهانه ۷ متری در حدود ۸ درصد است. اختلاف برش پایه بین رکورد های دور و نزدیک گسل سازه‌های کوتاه مرتبه و میان مرتبه در سازه‌های با دهانه ۵ متری به مراتب بیشتر از سازه‌های با دهانه ۷ متری است.

در شکل‌های (۳۸ و ٦-۲۱) تا شکل (٤۱ و ٦-۲٤) نمودارهای مربوط به جابجایی بام و برش پایه بر حسب زمان تناوب آیین نامه ۲۸۰۰ و زمان تناوب مود اول نوسان سازه‌ها آورده شده است.

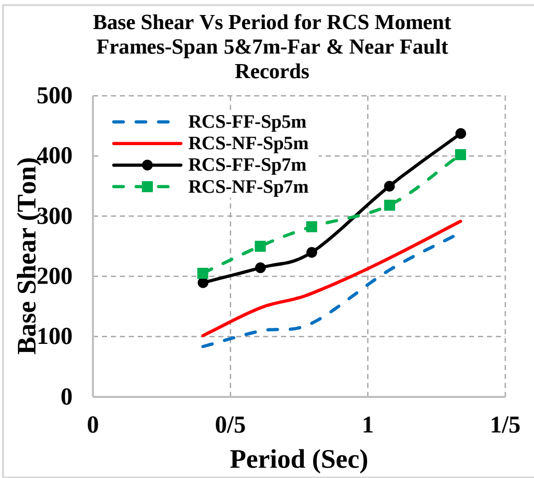
جابجایی بام ناشی از رکوردهای نزدیک گسل در سازه‌های کوتاه مرتبه (پریودهای پایین تر)، در هر دو نوع دهانه به هم نزدیک هستند در حالیکه در پریودهای بالاتر این جابجایی در سازه‌های دهانه ۵ متری بیشتر است. اما ناشی از رکوردهای دور از گسل در تمام پریودها جابجایی بام ناشی از دهانه ۷ متری بیشتر از دهانه های ۵ متری است. از طرفی در هر دو نوع طول دهانه، این جابجایی ناشی از نزدیک گسل بیشتر از دور از گسل است. در رابطه با برش پایه در این نمودارها می توان گفت که برش پایه ناشی از هر دو نوع رکورد در دهانه های ۷ متری بیشتر از همان رکوردها در دهانه ۵ متری است و از طرفی در پریودهای بیشتر، در دهانه ۷ متری برش پایه ناشی از رکورد دور از گسل بیشتر از نزدیک گسل شده است. و این نشان می دهد که در سازه‌های بلند مرتبه دهانه ۷ متری در رابطه با برش پایه، رکوردهای دور از گسل حاکم هستند. در حالیکه در تمام سازه‌های دهانه ۵ متری نزدیک گسل حاکم است.



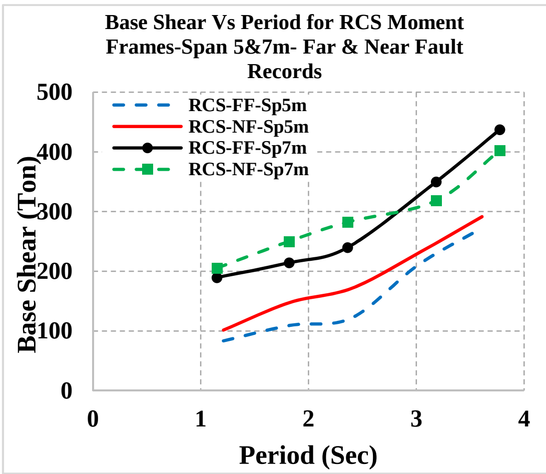
شکل ۳۸ جابجایی بام در مقابل پریود آیین نامه ۲۸۰۰ ناشی از رکوردهای نزدیک گسل و دور از گسل برای سازه‌های مرکب



شکل ۳۹ جابجایی بام در مقابل پریود مود اول نوسان ناشی از رکوردهای نزدیک گسل و دور از گسل برای سازه‌های مرکب

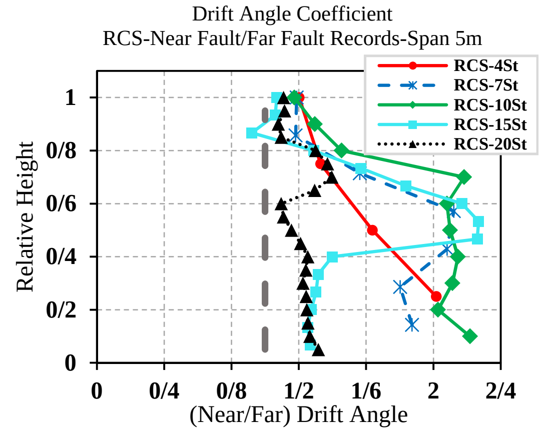


شکل ٤۰ برش پایه در مقابل پریود آیین نامه ۲۸۰۰ ناشی از رکوردهای نزدیک گسل و دور از گسل برای سازه‌های مرکب

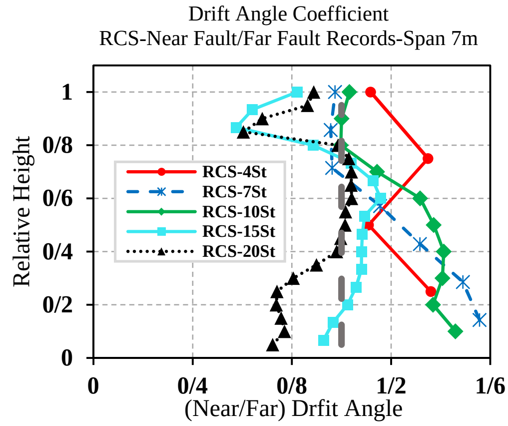


شکل ٤۱ برش پایه در مقابل پریود مود اول نوسان ناشی از رکوردهای نزدیک گسل و دور از گسل برای سازه‌های مرکب

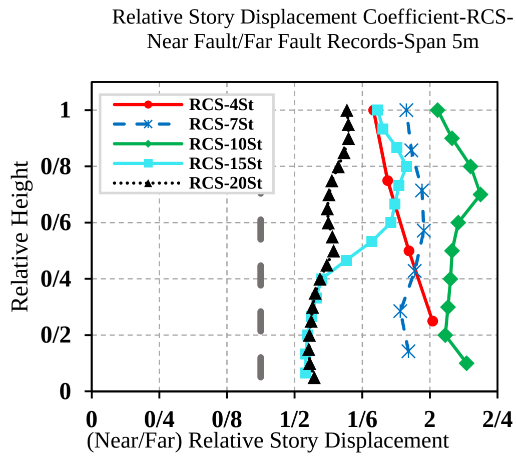
در شکل (٤۲) تا شکل (٤۷) نمودار نسبت زاویه دریفت، جابجایی و برش طبقات ناشی از رکورد نزدیک گسل به رکورد دور از گسل سازه‌های با دهانه ۵ متری و ۷ متری ارائه شده است. محدوده برابری نتایج رکورد نزدیک گسل و دور از گسل مشخص شده است و طبق آن نقاطی از نمودارها که بیشتر از ۱ شده اند مشخص کننده بیشتر بودن نتایج رکورد نزدیک گسل بیشتر از دور از گسل است.



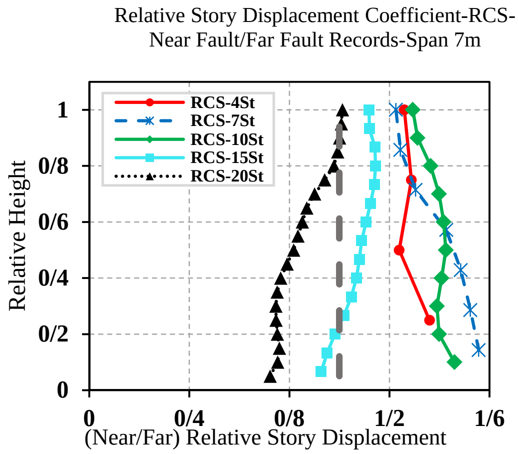
شکل ٤٢ نسبت زاویه دریفت طبقات ناشی از رکورد نزدیک گسل به رکورد دور از گسل سازه‌های با دهانه ۵ متری



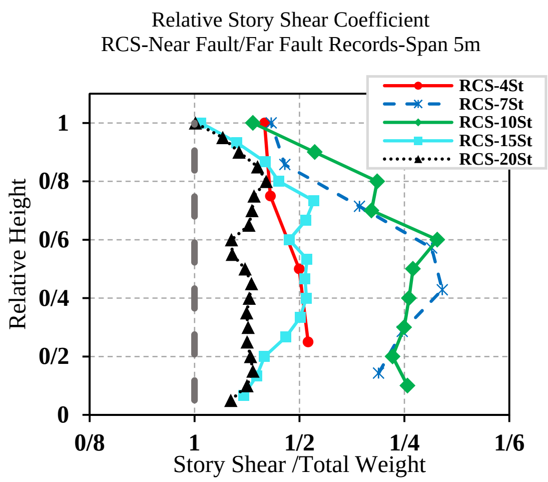
شکل ٤٣ نسبت زاویه دریفت طبقات ناشی از رکورد نزدیک گسل به رکورد دور از گسل سازه‌های با دهانه ۷ متری



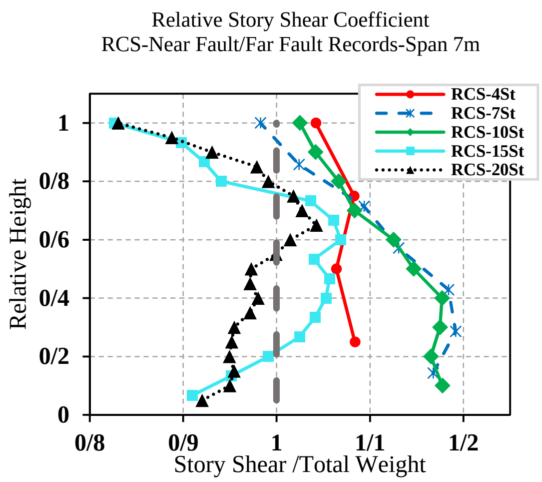
شکل ٤٤ نسبت جابجایی طبقات ناشی از رکورد نزدیک گسل به رکورد دور از گسل سازه‌های با دهانه ۵ متری



شکل ٤٥ نسبت جابجایی طبقات ناشی از رکورد نزدیک گسل به رکورد دور از گسل سازه‌های با دهانه ۷ متری



شکل ٤٦ نسبت برش طبقات ناشی از رکورد نزدیک گسل به رکورد دور از گسل سازه‌های با دهانه ۵ متری

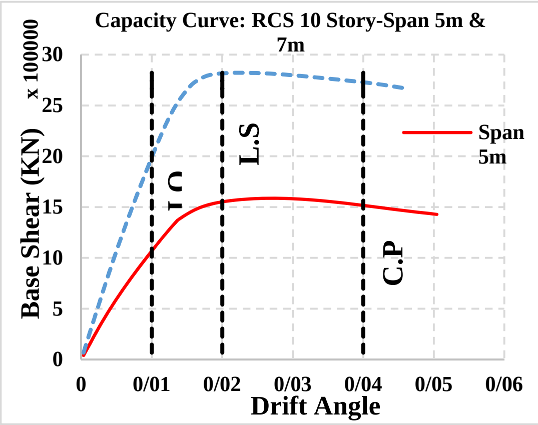


شکل ٤٧ نسبت برش طبقات ناشی از رکورد نزدیک گسل به رکورد دور از گسل سازه‌های با دهانه ۷ متری

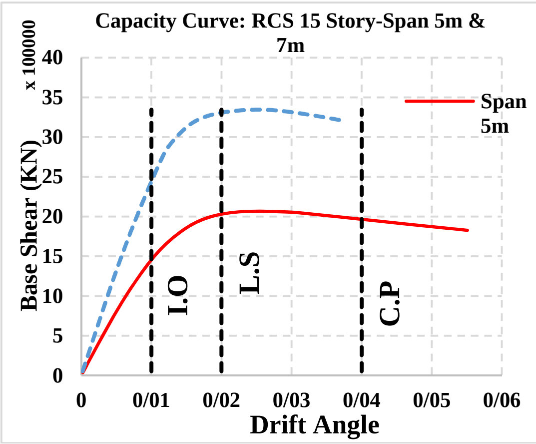
شکل (٤٢) و شکل (٤٣) نشان می دهد که در همه سازه‌های دهانه ٥ متری نتایج زاویه دریفت ناشی از نزدیک گسل بیشتر از زاویه دریفت ناشی از زلزله های دور از گسل است. از طرفی سازه‌های بلند مرتبه دهانه ٧ متری در طبقات تحتانی و فوقانی زاویه دریفت ناشی از دور از گسل بیشتر از زاویه دریفت نزدیک گسل است و در بقیه سازه‌ها زاویه دریفت نزدیک گسل بیشتر از دور از گسل است. و از طرفی در سازه میان مرتبه در طبقات فوقانی نتایج دور و نزدیک گسل برابر شده اند.

شکل (٤٤) و شکل (٤٥) نشان می دهد که جابجایی طبقات ناشی از رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از دور از گسل است. اما در دهانه های ٧ متری، جابجایی سازه‌های بلند مرتبه ناشی از دور از گسل بیشتر از نزدیک گسل است. شکل (٤٦) و شکل (٤٧) نیز نشان می دهد که برش طبقات همه سازه‌های دهانه ٥ متری ناشی از رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از برش طبقات ناشی از رکوردهای دور از گسل است. اما درمورد سازه‌های دهانه ٧ متری در سازه‌های بلندمرتبه برش طبقات تحتانی و فوقانی ناشی از رکوردهای دور از گسل بیشتر از نزدیک گسل است.

به منظور بررسی ظرفیت قاب‌های RCS از تحلیل استاتیکی غیرخطی با الگوی بار مثلثی استفاده شده است. و نتایج برای سازه‌های ١٠ و ١٥ طبقه در شکل های (٤٨) و (٤٩) ارائه گردیده است. تغییرمکان هدف با استفاده از نشریه ٣٦٠ [٢١] برای قاب‌های مورد نظر محاسبه شده است. محدوده سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه (I.O)، ایمنی جانی (L.S) و آستانه فروریزش (C.P) نیز بر اساس FEMA356 [19] نشان داده شده است. طبق نمودارهای مذکور می‌توان دریافت که با افزایش طول دهانه ظرفیت نهایی قاب مرکب افزایش یافته است که این امر نشانگر مزیت تیرهای فولادی در پوشش دهانه‌های بلند است. از طرفی با افزایش طول دهانه شکل پذیری قاب مرکب کاهش یافته است.



شکل ٤٨ منحنی ظرفیت سازه‌های ١٠ طبقه مرکب



شکل ٤٩ منحنی ظرفیت سازه‌های ١٥ طبقه مرکب

نتیجه گیری

١. جابجایی و زاویه دریفت طبقات سازه‌های با دهانه ٥ متری تحت رکورد نزدیک گسل بیشتر از جابجایی و زاویه دریفت ناشی از رکوردهای دور از گسل است. در حقیقت به دلیل بیشتر بودن انرژی ورودی به سازه در اثر زلزله‌های نزدیک گسل در کلیه سازه‌های مورد بحث جابجایی ناشی از زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر از جابجایی ناشی از زلزله‌های دور از گسل می‌باشد.

٢. با افزایش تعداد طبقات اختلاف جابجایی و زاویه دریفت ناشی از رکوردهای دور و نزدیک گسل

کاهش می یابد.

۳. برش پایه سازه‌های دهانه ۵ متری تحت رکورد نزدیک گسل بیشتر از برش پایه تحت رکوردهای دور از گسل است و با افزایش تعداد طبقات این اختلاف کاهش می یابد.

٤. با افزایش طول دهانه در سازه کوتاه مرتبه اثر زلزله نزدیک گسل حاکم است و در سازه‌های بلند مرتبه اثر زلزله های دور از گسل حاکم است. در حقیقت با افزایش طول دهانه اثر زلزله دور از گسل در سازه‌های بلند بیشتر می شود.

٥. با افزایش طول دهانه اختلاف برش پایه ناشی از زلزله های دور و نزدیک گسل کمتر می شود.

٦. در همه سازه‌های دهانه ۵ متری نتایج زاویه دریفت ناشی از نزدیک گسل بیشتر از زاویه دریفت ناشی از زلزله های دور از گسل است. از طرفی سازه‌های بلند مرتبه دهانه ۷ متری در طبقات تحتانی و فوقانی زاویه دریفت ناشی از دور از گسل بیشتر از زاویه دریفت نزدیک گسل است.

۷. در دهانه های ۷ متری، جابجایی سازه‌های بلند مرتبه ناشی از دور از گسل بیشتر از نزدیک گسل است.

۸. سازه‌های بلندمرتبه دهانه ۷ متری برش طبقات تحتانی و فوقانی ناشی از رکوردهای دور از گسل بیشتر از نزدیک گسل است.

۹. با افزایش طول دهانه ظرفیت نهایی قاب مرکب افزایش یافته است که این امر نشانگر مزیت تیرهای فولادی در پوشش دهانه‌های بلند است.

مراجع

1. P. Cordova, P. and G.G. Deierlein, "Validation of the seismic performance of composite RCS frames: full-scale testing, analytical modeling, and seismic design". The John A. Blume Earthquake Engineering Center Dept. of Civil and Environmental Engineering Stanford University, (2005).
2. G. G. Deierlein, "Design of moment connections for composite framed structures". University of Texas at Austin. (1988).
3. T. M. Sheikh, G.G. Deierlein, J. Yura, J. Jirsa, "Beam-column moment connections for composite frames: Part 1", *Journal of Structural Engineering.* Vol: 115(11): p. 2858-2876. (1989).
4. G. G. Deierlein, T.M. Sheikh, J. Yura, J. Jirsa, "Beam-column moment connections for composite frames: Part 2", *Journal of Structural Engineering.* Vol: 115(11): p. 2877-2896. (1989).

۵. س.ع.حسینی، م.م. رنجبر، ج. رزاقی، ر. مدندوست، " بررسی اتصالات و تحلیل لرزه ای قاب مرکب فولادی و بتنی (RCS)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، (۱۳۸۳).

٦. س.ع.حسینی، ج.رزاقی، س. پورزینعلی، ع. حسین نژاد، "تحلیل قابلیت اعتماد قاب‌های مختلط RCS"، دومین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه علم و صنعت، عمران، (۱۳۸٤).

۷. ک. پرهیزگار ، ح. آقابراتی، "بررسی قاب‌های خمشی مختلط RCS تحت بارگذاری لرزه ای"، سومین همایش ملی عمران شهری، سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، (۱۳۹۰).

۸. م. حبشی زاده، م. چناقلو، ک. عابدی و ح. افشین، "مدلسازی قاب‌های خمشی ویژه RCS و بررسی رفتار اتصالات بر روی رفتار کلی این قاب‌ها"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ٤٤، شماره ۲، (۱۳۹۳).

۹. ح. اسدی مندی، م. حسینعلی بیگی، امینی راد، "بررسی ضوابط طراحی سازه‌های مرکب بر اساس آیین نامه هـای EUROCODE، AISC و مقایسه فنی و اقتصادی آنها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسـی، (۱۳۸۰).

۱۰. ه.حبیب آگهی، ع. سلاجقه، ج. سلاجقه، "بهینه سازی عملکردی و اطمینان پذیری سازه‌های ترکیبی RCS"، پایان نامه کارشناسی ارشـد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۷).

11. Chen C. H, Lai W. C, Cordova P, Deierlein G. G, Tsai K. C. "Pseudo-dynamic test of full-scale RCS frame: Part I – Design, Construction, and Testing", to appear in NCREE Workshop Proceedings. (2004).
12. Cordova P, Deierlein G. G. "Validation of the seismic performance of composite RCS frames: full-scale testing, analytical modeling, and seismic design".The John A. Blume Earthquake Engineering Center Dept. of Civil and Environmental Engineering Stanford University. (2005).
13. OpenSees, "Open System for Earthquake Engineering Simulation", Available from URL: 9(http://opensees. Berkeley. Edu), (2009).
14. ACI 318-08, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, Portland Cement Association, American Concrete Institute, (2008).
15. AISC 360-05, Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction, A ANSI - Inc: Chicago, IL, (2005).
16. ASCE 7-10. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, ISBN 978-0-7844-1085-1, (2010).
17. http://ngawest2.berkeley.edu/ [Online].

۱۸. کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزلـه (اسـتاندارد۲۸۰۰–۹۲) ویرایش چهارم، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (۱۳۸٤).

19. FEMA-356, "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", ASCE (Funded by Federal Emergency Management Agency),(2000).
20. http://seismosoft.com/en/Download.aspx.

۲۱. دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود نشریه شماره ۳٦۰، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۵).